

## Capítulo 5

Inserción de la bioenergía en el sistema  
energético en Colombia

Insertion of bioenergy in the energy  
system in Colombia

**Ricardo Moreno-Chuquen**

Doctor, Magíster e Ingeniero. Profesor - investigador de la  
Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia.

Contacto: [rmoreno@uao.edu.co](mailto:rmoreno@uao.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4321-2623>

**Carlos Arturo Ramírez-Escobar**

Doctor, Magíster, Especialista, Ingeniero Mecánico. Profesor-investigador  
Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contacto: [ramirez.carlos@fuac.edu.co](mailto:ramirez.carlos@fuac.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8640-5871>

**Clara Inés Buriticá-Arboleda**

Doctora, Especialista, Ingeniera Electricista. Profesora-investigadora  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: [ciburiticaa@udistrital.edu.co](mailto:ciburiticaa@udistrital.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4073-3471>



## Resumen

Este capítulo presenta el esquema de cooperativas energéticas como alternativa para la inserción de bioenergía en el sistema energético colombiano a través de aprovechamientos locales y distribuidos. Inicialmente se describen experiencias internacionales en organización de cooperativas energéticas y la participación activa de la sociedad en el contexto del cambio climático. Se presenta un análisis detallado de la demanda oculta en Colombia y las oportunidades de oferta desde el lado de la demanda. A continuación, este capítulo muestra las perspectivas de integración en bioenergía al año 2032 a través de la construcción de escenarios energéticos con LEAP (Long Energy Alternative Planning). Una sección se dedica a la valoración energética de la bioenergía. Finalmente, este capítulo finaliza con una sección dedicada al problema de la asociatividad rural en Colombia.

**Palabras clave:** cooperativas energéticas, escenarios energéticos, cambio climático.



## Abstract

This chapter presents the scheme of energy cooperatives as an alternative for the insertion of bioenergy in the Colombian energy system through local and distributed uses. Initially, international experiences in the organization of energy cooperatives and the active participation of society in the context of climate change are described. A detailed analysis of hidden demand in Colombia and supply opportunities from the demand side is presented. Next, this chapter shows the perspectives of integration in bioenergy to the year 2032 through the construction of energy scenarios with LEAP (Long Energy Alternative Planning). A section is dedicated to the energy valuation of bioenergy. Finally, this chapter ends with a section dedicated to the problem of rural associativity in Colombia.

**Keywords:** energy cooperatives, energy scenarios, climate change  
Introducción.



## Introducción

Dada la realidad del cambio climático y sus efectos en la naturaleza y la sociedad se hace necesario la creación, desarrollo y adopción de nuevas formas de producción y consumo y particularmente en la producción y consumo de energía eléctrica. La generación distribuida y la autogeneración con bioenergía representan un cambio respecto al paradigma de la infraestructura de generación a gran escala y centralizada que se desarrolló durante el siglo XX acorde a la disponibilidad de recursos energéticos y por criterios de eficiencia económica. Sin embargo, la sostenibilidad en el uso de recursos energéticos y su transformación en energía eléctrica requieren nuevas estrategias en el contexto de cambio climático. Tal transformación pasa por la innovación desde una ciudadanía activa y con acceso a tecnologías para la autogeneración de energía eléctrica y la gestión energética para el aprovechamiento de la bioenergía. Las cooperativas energéticas han surgido como una estrategia ciudadana de organización frente al cambio climático (Capellán-Pérez et al., 2018) y un ejemplo reciente en Alemania y reportado en (Łapniewska, 2019).

Varios esquemas de cooperación energéticas han sido descritos recientemente y otros llevados a cabo a manera de emprendimientos de carácter social. En particular la bioenergía representa una oportunidad de interés en enfoques colaborativos como cooperativas energéticas (Roesler & Hassler, 2019) y también en países de otro tipo de economías (Singh & Singh, 2019). Nuevas estructuras de mercados de energía eléctrica han sido descritas ba-

sadas en transacciones de persona a persona (peer-to-peer) (Giotitsas et al., 2015) y (Liu et al., 2019). Con la llegada de usuarios proactivos, denominadas como prosumidores (Hahnel et al., 2019) y con diferentes alternativas para realizar transacciones de energía eléctrica (Chen et al., 2019), quienes producen energía eléctrica desde sus instalaciones y además con posibilidad de almacenar energía, está empoderando a los usuarios a través de nuevas oportunidades provistas por la tecnología. Los mercados peer-to-peer están basados en el usuario (prosumidor) con una perspectiva bottom-up (Yin et al., 2019), en contraste con la tradicional perspectiva top-down de la organización de los mercados de energía eléctrica (Sousa et al., 2019).

## 5.1. Análisis de penetración de los recursos distribuidos de bioenergía

### 5.1.1. La energía centralizada en el Sistema Interconectado Nacional

En el año 2018 la demanda total de energía eléctrica del SIN (Sistema Interconectado Nacional) fue 69.121 GWh (XM, 2018) que represento un crecimiento del 3,3% respecto al 2017. La capacidad de generación de energía eléctrica a diciembre de 2018 se muestra en la Tabla 5.1. La participación de cada una de las fuentes de energía se muestra en la Tabla 5.2. La alta participación de centrales hidroeléctricas a gran escala ha representado un riesgo latente respecto al abastecimiento de energía eléctrica en temporadas de sequía (Chuquen & Luna, 2020).

Tabla 5.1 Capacidad efectiva de generación del SIN a diciembre de 2018.

| Fuente de energía                     | 2018<br>MW | Participación<br>(%) |
|---------------------------------------|------------|----------------------|
| Hidráulicos                           | 10.974     | 64,8%                |
| Térmicos a gas                        | 2.129      | 12,5%                |
| Térmico a carbón                      | 1.612      | 9,5%                 |
| Térmicos a combustibles<br>líquidos   | 1.346      | 7,9%                 |
| Pequeñas centrales<br>hidroeléctricas | 859        | 5,1%                 |
| Centrales eólicas                     | 18,42      | 0,11%                |
| Centrales fotovoltaicas               | 9,8        | 0,06%                |

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 5.2 Generación de energía eléctrica del SIN a diciembre de 2018.**

| <b>Fuente de energía</b>  | <b>2018<br/>GWh</b> | <b>Participación<br/>(%)</b> |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|
| Combustible fósil         | 11.510,7            | 14,3%                        |
| <b>Total No Renovable</b> | <b>11.510,7</b>     | <b>14,3%</b>                 |
| Biomasa                   | 729,8               | 0,95%                        |
| Eólica                    | 43,4                | 0,04%                        |
| Hidráulica                | 56.647,0            | 70,4%                        |
| Solar                     | 12                  | 0,01%                        |
| <b>Total general</b>      | <b>80.451</b>       | <b>100.0%</b>                |

*Fuente: Elaboración propia.*

Es importante mencionar los retos de la integración a gran escala de parques eólicos y centrales fotovoltaicas que han sido analizados de manera detallada para la operación de los sistemas eléctricos en (Obando et al., 2020) y (Moreno et al., 2019). De esta manera, desde un punto de sostenibilidad, la producción de energía eléctrica generación a gran escala representa desafíos de ingeniería que muy posiblemente implicaría costos para la sociedad dados los requerimientos de infraestructura de transporte y distribución y las implicaciones sociales y ambientales de infraestructuras a gran escala como anudamientos de miles de hectáreas para el almacenamiento de agua o la perturbación de territorios para el despliegue masivo de otras tecnologías.

### **5.1.2. La energía descentralizada en el Sistema Interconectado Nacional**

La revelación de la “demanda oculta” introducida en el documento del Plan de expansión de referencia Generación Transmisión 2015-2029 modifica la visión de abastecimiento exclusivamente desde la oferta del sector eléctrico colombiano y pone de manifiesto que existe y ha existido una demanda de energía, cuyo promedio histórico alcanza el 13,5% (UPME, 2015); la cual se, definió como aquella “demanda que no se ve reflejada en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), pero que realmente es demandada en aquellos sectores de la economía para abastecerse” (UPME, 2015). Esta demanda es suplida por sistemas de autogeneración que representa

el 7,58% de la producción de energía eléctrica del país y por cogeneración la cual aporta el 6,18%. Una idea del peso que posee la autoproducción y cogeneración del lado de la demanda en la suplencia de demandas ocultas de energía y potencia se estimó en 2014 en 8.744 GWh y equivalente en potencia en 1.315 MW (UPME, 2015).

La demanda “oculta” es fundamentalmente abastecida por fuentes no renovables de energía en procesos de cogeneración y autogeneración (UPME, 2015), y por ende, es de esperar que posea un impacto significativo en el cálculo de las emisiones de energía, debido que según la línea de base calculada en el estudio de la Universidad de los Andes las mayores tasas anuales de crecimiento equivalente (4,5%) la poseen la industria y la generación eléctrica en el SIN, durante el periodo de análisis (Universidad de los Andes, 2014).

Además, se encontró que las correlaciones para potencia y energía máximas y medias de electricidad en los sectores del estudio de autogeneración y cogeneración con las potencias máximas y medias del SIN superan el 91% (UPME, 2015). En tales condiciones, la cantidad de emisiones de la autogeneración y cogeneración está en dependencia de la combustión de fuentes fósiles y de las eficiencias de las tecnologías asociadas. Su crecimiento anual está fuertemente correlacionado al crecimiento de las demandas del SIN. Así, es posible afirmar que el impacto de las emisiones a causa del abastecimiento energético de la demanda oculta, rebasará al impacto del abastecimiento eléctrico de las ZNI del país, las cuales producen energía, mayoritariamente, a partir de diésel.

Las medidas de mitigación de emisiones desde la gestión de la demanda parten de la valoración energética y ambiental de los recursos energéticos asociados a la demanda oculta; en consecuencia, se pueden plantear medidas intrínsecas de abatimiento de CO<sub>2eq</sub> desde las mismas tecnologías de generación distribuida; o medidas de actuación frente a la operación del SIN y del mercado de estas tecnologías distribuidas que aprovechen el potencial de abatimiento de CO<sub>2eq</sub>; potencial que pretende establecer esta investigación a partir de los RDB.

Las medidas intrínsecas de abatimiento de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  de las tecnologías de generación distribuida para autogeneración o cogeneración de origen térmico pueden provenir de la sustitución completa o parcial del combustible fósil, a través de las tecnologías de combustión o co-combustión de Recursos Distribuidos de Bioenergía RDB; ya sea en ciclos simples o de cogeneración. Esto debido a que la biomasa es, en mayor medida, una fuente de energía distribuida, cuya propiedad de recursos concentrados se encuentra del lado de la demanda (usuarios de la energía), usualmente en la agroindustria, la industria alimenticia, en el sector de servicios hoteleros, plazas de mercado y en la fracción degradable de los Residuos Sólidos Urbanos RSU. Para capturar esta posibilidad es necesario considerar a la biomasa como recurso renovable.

Las medidas de actuación frente a la operación del SIN y del mercado eléctrico, tienen que ver con la posibilidad de emisión de señales económicas ya sea de incentivos o de precio, que conlleven a la demanda con recursos de energía renovable y/o flexibilidad de consumo a participar activamente del mercado configurando, la así llamada, Respuesta de la Demanda RD. De manera que con la participación activa de la demanda poseedora de recursos renovables de energía, logre desplazar parte de los picos de generación centralizada térmica a partir de combustibles fósiles, por generación de energía eléctrica a partir de biomasa, aumentando con ello la confiabilidad del sistema y su resiliencia.

## **5.2. Construcción de escenarios de inserción de bioenergía 2020-2030**

Esta sección presenta escenarios energéticos de integración de RDB basados en bioenergía y corresponde a una alternativa a los escenarios tradicionales y basados en sistemas a gran escala que presenta la UPME cada año en los planes de expansión. Los escenarios energéticos prospectivos permiten caracterizar alternativas energéticas acorde a decisiones de políticas energéticas en el corto y mediano plazo (Witt et al., 2020), (Góngora et al., 2015) y (Moreno et al., 2018). La construcción y simulación de escenarios constituyen un método para explorar alternativas energéti-

cas desde una perspectiva sistemática de largo plazo (Oberle & Elsland, 2019). Esta sección muestra un escenario de integración de bioenergía y su potencial energético en el sistema energético nacional considerando que la demanda en 2018 fue de 69.121 GWh y se ha utilizado una tasa de crecimiento del 3% de la demanda por energía eléctrica. Para 2032, la demanda de energía eléctrica será de 101.500 GWh. Este capítulo mostrará escenarios con el nivel de participación de la bioenergía de manera distribuida y descentralizada.

Este capítulo contiene escenarios de inserción de la bioenergía en el sistema energético colombiano. Los escenarios consideran la inserción de bioenergía por cada una de las regiones geográficas de Colombia (Andina, Caribe, Orinoquía, Pacífico, Amazonía) de acuerdo a los potenciales energéticos de la biomasa agrícola, la biomasa pecuaria y la biomasa de residuos sólidos urbanos.

La construcción de escenarios energéticos se lleva a cabo en el software LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System) que es una herramienta ampliamente utilizada para valorar y explorar políticas energéticas y acciones de mitigación de cambio climático (Mikova et al., 2019) y casos particulares en sistemas energéticos nacionales (Hong et al., 2019). El escenario pretende mostrar el nivel de inserción que alcanzaría la bioenergía en el SIN en la ventana de tiempo 2018 - 2032. La generación de energía eléctrica a partir de la bioenergía está relacionada con el desarrollo agrícola y agroindustrial, dado que el crecimiento del sector agrícola induce la generación de residuos de biomasa con la potencialidad de ser valorizados y transformados en energía eléctrica. Más aún, la bioenergía como recurso de energía distribuido y descentralizado tiene oportunidades de interés dado el potencial energético de las diferentes biomásas en las regiones del país. Este capítulo explora las prospectivas de inserción de la bioenergía a través del agrupamiento en tres categorías: biomasa agrícola, biomasa pecuaria y biomasa de residuos sólidos urbanos. Este capítulo explorará la inserción regional de la bioenergía en cinco regiones: Andina, Caribe, Orinoquía, Pacífico y Amazonía.

Las políticas gubernamentales desde hace varios años han identificado al sector agrícola como un sector con una potencialidad importante para las próximas décadas considerando la disponibilidad de tierras fértiles en varias regiones del país con viabilidad de convertirse en tierras productivas de varios alimentos para satisfacer el consumo interno e iniciar planes de exportación. Colombia cuenta con 42 millones de hectáreas aptas para las actividades agropecuarias y forestales (“Plan nacional de desarrollo (PND) 2014 – 2018. Sin embargo, para agricultura se utilizan el 24% de las tierras aptas según el informe “Atlas de la distribución de la propiedad rural en Colombia, 2012” realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, debido entre razones, acorde al PND 2014-2018 a “vacíos en términos de formalización y regularización de los derechos de propiedad y conflicto (económico, social y ecológico) en el uso del suelo”, también el PND 2014 – 2018 menciona como barrera para el uso productivo y eficiente de la tierra en Colombia, lo cual obstaculiza el acceso a la tierra limitando la productividad agrícola.

El sector agropecuario enfrenta problemáticas complejas, las cuales se reflejan en el PIB agropecuario, acorde al PND 2014 – 2018, la tasa de crecimiento promedio en el periodo de tiempo 2000-2014 fue de 2,1%, que está por debajo del promedio de los países de América Latina y el Caribe, que en el mismo periodo presentaron una tasa de crecimiento del 2,7%. El PND 2014 – 2018 en el capítulo 7, despliega varios objetivos, estrategias y metas para la transformación del campo en Colombia incluyendo la competitividad y crecimiento del sector agrícola y agroindustrial.

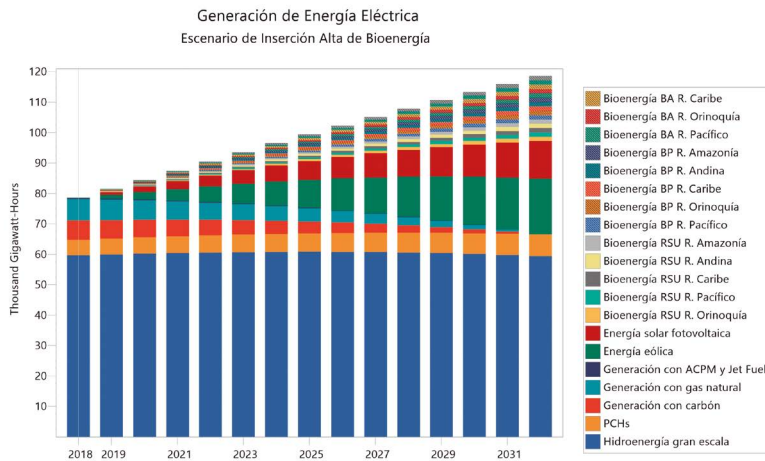
En cuanto a metas relacionadas con el sector agrícola el PND 2014 – 2018 propone metas en cuanto a la cantidad de hectáreas sembradas de cultivos que incluyen cacao, caucho, maíz, soya, frutales, hortalizas, entre otros. La meta intermedia a 2018 consiste en aumentar a 3.029.258 hectáreas cultivadas considerando que en 2014 se cultivaron 2.347.915 hectáreas, es decir un aumento del 22% respecto al número de hectáreas que se sembraron en 2014, en términos anuales, corresponde a una tasa del 6,5%.

El sector avícola, dado el potencial energético de los residuos avícolas como recurso energético. En este aspecto, el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018, establece como meta de crecimiento un aumento del 18% en la producción de carne de pollo y huevo (la producción en 2014 fue de 1.943.165 toneladas y se espera que en 2018 aumente a 2.376.142 toneladas), que corresponde a una tasa anual de crecimiento del 5,1%.

Con la información histórica y las perspectivas de crecimiento acorde al PND 2014 – 2018 y con información sectorial se ha construido un escenario energético de integración de biomasa en el SIN, el escenario de referencia caracteriza la canasta energética de generación de energía eléctrica en Colombia considerando las características de cada tecnología, como, la capacidad, la disponibilidad y la eficiencia promedio de transformación de recursos energéticos en energía eléctrica. La caracterización energética de las tres biomásas por cada una de las regiones está basado en el poder calorífico inferior (PCI) presentado en el capítulo 2.

Se han considerado tres escenarios energéticos: escenario con inserción alta de bioenergía, escenario con inserción media de bioenergía y un escenario con inserción baja de bioenergía. Las perspectivas de crecimiento de cada biomasa en cada región corresponden a dinámicas regionales y sectoriales, el PND 2014 – 2018 contempla tasas de crecimiento anual entre el 2% y el 4% acorde a las metas y perspectivas de manera general para el sector agrícola.

Los escenarios de inserción de bioenergía pretenden mostrar las posibilidades de los recursos distribuidos de bioenergía en Colombia y el nivel de aprovechamiento considerando las metas de generación baja en carbono que considera el PND 2014 – 2018 en el capítulo “Crecimiento Verde”. La Fig. 5.1 muestra la generación de energía eléctrica y la inserción de la bioenergía por cada región y la participación de otras fuentes de energía del SIN, como la energía fotovoltaica y la energía eólica. En este escenario los tres grupos de biomasa aportarían aproximadamente 21.000 GWh en el año 2032.



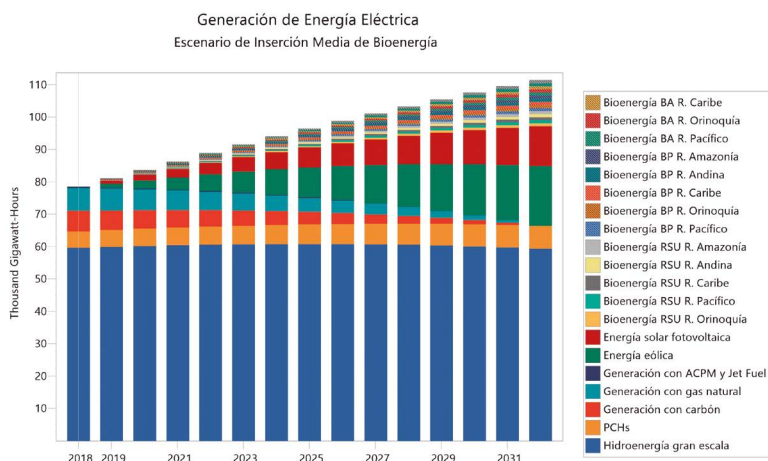
Fuente: Elaboración propia.

En este escenario la demanda de energía eléctrica en 2032 es cubierta por un portafolio de fuentes de energía como se muestra en la Tabla 5.3. La participación de las hidroenergía a gran escala (principalmente centrales hidroeléctricas con represa) participaría en la generación de energía eléctrica en un 50%. El otro 50% sería cubierto por fuentes de energía que aprovechan recursos renovables como centrales eólicas, centrales fotovoltaicas, bioenergía y PCHs.

| Fuente de energía          | GWh    | Participación (%) |
|----------------------------|--------|-------------------|
| Hidroenergía a gran escala | 59.400 | 50%               |
| Centrales eólicas          | 18.200 | 16%               |
| Centrales fotovoltaicas    | 12.300 | 11%               |
| Bioenergía                 | 21.000 | 17%               |

La Fig. 5.2 muestra un escenario a 2032 con inserción media de bioenergía por cada región y la participación de otras fuentes de energía del SIN, como la energía fotovoltaica y la energía eólica. En este

escenario los tres grupos de RDB aportarían aproximadamente 15.000 GWh en el año 2032.



**Figura 5.2 Escenario de inserción media de bioenergía en Colombia**

*Fuente: Elaboración propia*

En este escenario la demanda de energía eléctrica en 2032 es cubierta por un portafolio de fuentes de energía como se muestra en la Tabla 5.4. La participación de las hidroenergía a gran escala (principalmente centrales hidroeléctricas con represa) participaría en la generación de energía eléctrica en un 50%. El otro 50% sería cubierto por fuentes de energía que aprovechan recursos renovables como centrales eólicas, centrales fotovoltaicas, bioenergía y PCHs, con mayor participación de centrales eólicas y centrales fotovoltaicas a gran escala.

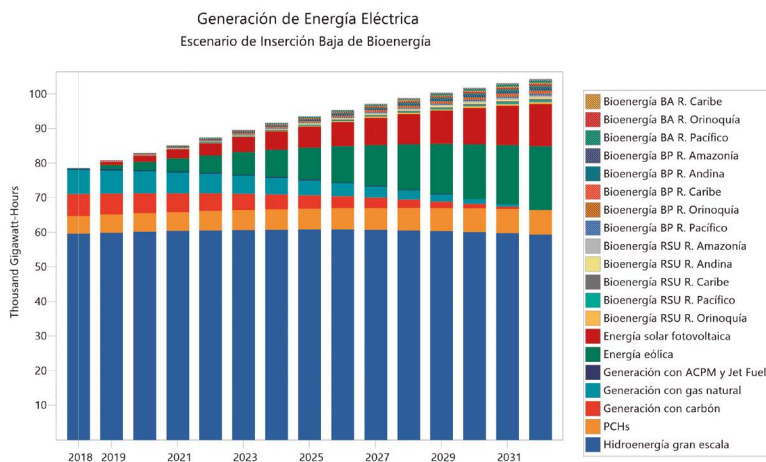


**Tabla 5.4 Participación de fuentes de energía a 2032 - Escenario de inserción media.**

| Fuente de energía                | GWh    | Participación (%) |
|----------------------------------|--------|-------------------|
| Hidroenergía a gran escala       | 59.400 | 50%               |
| Centrales eólicas                | 21.600 | 19%               |
| Centrales fotovoltaicas          | 14.900 | 14%               |
| Bioenergía                       | 15.000 | 11%               |
| PCHs                             | 7.100  | 6%                |
| Térmicos a gas                   | 0      | -                 |
| Térmico a carbón                 | 0      | -                 |
| Térmicos a combustibles líquidos | 0      | -                 |

**Fuente: Elaboración propia.**

La Fig. 5.3 muestra un escenario a 2032 con inserción baja de bioenergía por cada región y la participación de otras fuentes de energía del SIN, como la energía fotovoltaica y la energía eólica. En este escenario los tres grupos de biomasa aportarían aproximadamente 7.500 GWh en el año 2032.



**Figura 5.3 Escenario de inserción baja de bioenergía en Colombia.**

**Fuente: Elaboración propia.**

En este escenario la demanda de energía eléctrica en 2032 es cubierta por un portafolio de fuentes de energía como se muestra en la Tabla 5.5. La participación de la hidroenergía a gran escala (principalmente centrales hidroeléctricas con represa) participaría en la generación de energía eléctrica en un 50%. El otro 50% sería cubierto por fuentes de energía que

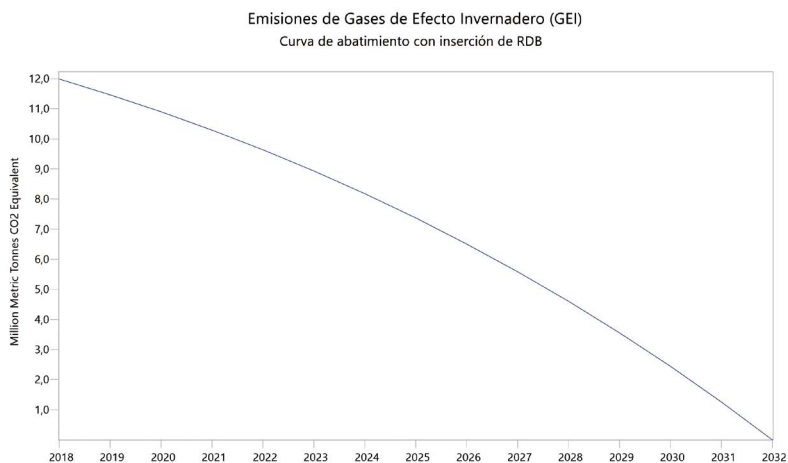
aprovechan recursos renovables como centrales eólicas, centrales fotovoltaicas, bioenergía y PCHs, con mayor participación de centrales eólicas y centrales fotovoltaicas a gran escala.

**Tabla 5.5 Participación de fuentes de energía a 2032 - Escenario de inserción baja.**

| <b>Fuente de energía</b>         | <b>GWh</b> | <b>Participación (%)</b> |
|----------------------------------|------------|--------------------------|
| Hidroenergía a gran escala       | 59.400     | 50%                      |
| Centrales eólicas                | 25.800     | 22%                      |
| Centrales fotovoltaicas          | 18.200     | 16%                      |
| Bioenergía                       | 7.500      | 6%                       |
| PCHs                             | 7.100      | 6%                       |
| Térmicos a gas                   | 0          | -                        |
| Térmico a carbón                 | 0          | -                        |
| Térmicos a combustibles líquidos | 0          | -                        |

**Fuente:** Elaboración propia.

La Fig. 5.4 muestra la curva de abatimiento de CO<sub>2</sub> en el escenario de inserción de Recursos Distribuidos de Bioenergía (RDB) por regiones. Dado que los recursos localizados de bioenergía desplazarían paulatinamente el uso de recursos fósiles como carbón y gas natural entonces a 2032 las emisiones de CO<sub>2</sub> de parte del sector de la generación de energía eléctrica serían cero.



**Figura 5.4 Curva de abatimiento de CO<sub>2</sub> con inserción de RDB.**

**Fuente:** Elaboración propia.

### **5.3. Cooperativas energéticas de recursos energéticos distribuidos de bioenergía**

Las características e importancia de la bioenergía permitirían avanzar en esquemas colaborativos alrededor de la adquisición, uso y aprovechamiento de los diferentes recursos distribuidos de bioenergía disponibles en las regiones de Colombia. De manera tal que la bioenergía como recursos energéticos distribuido está cerca a los lugares donde las personas que aprovechan esta energía la pueden usar para sus propias necesidades o compartirlas con la comunidad. Estos esquemas de colaboración y cooperación alrededor del recurso de la bioenergía han avanzado de manera importante en varios países europeos a través de diferentes estrategias de cooperación. Esta breve sección hace notar opciones de uso, producción y aprovechamientos energéticos diferentes al paradigma usual de generación de energía a gran escala en esquemas usualmente oligopólicos.

La interacción entre comunidades ha sido clave en la historia de la humanidad y el desarrollo tecnológico vigente da nuevas oportunidades de colaboración y cooperación en la adquisición, producción y uso de servicios y productos. Uno de estos modelos que han evolucionado junto al avance del hombre y sus técnicas, es la actividad de intercambio de bienes y servicios conocido como comercio o actividad mercantil, en la misma se busca como fin último suplir las necesidades o deseos del individuo ya sea por medio del intercambio directo de bienes o por una moneda de cambio que presenta el valor correspondiente al bien adquirido. Algunos ejemplos del avance del comercio a medida que avance el hombre pueden ser vistos a lo largo de la historia; para nombrar algunos pocos: se cuenta con el inicio del mismo a través del trueque, la introducción de la moneda en los tiempos romanos con el salario, el desarrollo de canales de distribución como las rutas comerciales en la edad media y el aprovechamiento de tecnologías como las innovaciones en el transporte para carga de producción vistas en la revolución industrial con el desarrollo del ferrocarril.

De esta manera, en la actualidad se despliegan multiplicidad de modelos económicos que intentan incorporar de diferente maneras los de-

sarrollos tecnológicos como lo puede ser por ejemplo; las tecnologías de la información y la comunicación, que, permiten un rápido crecimiento de la economía colaborativa (Petropoulos, 2017). A través de la cual los proveedores de bienes y servicios duraderos pueden comerciar en línea con el cliente final, eliminando así, canales intermediarios o redundantes que encarecen el producto. Así pues, se entiende como economía colaborativa a la interacción entre dos o más sujetos para la provisión, adquisición, o cooperación alrededor de un servicio o producto. El aspecto clave está en la interacción colaborativa entre los usuarios. Un sistema cooperativo y comunitario es un sistema abierto y dinámico.

Los principios de la economía colaborativa son: el aprovechamiento de recursos subutilizados, la generación de un impacto social y ambiental, la participación activa de las comunidades, la democratización de la tecnología, y la autonomía laboral y económica de las partes. Marcado por la migración de un escenario de consumismo individualizado hacia nuevos modelos potenciados socialmente del tipo peer-to-peer. Teniendo como objetivo específico alinear intereses y motivaciones tanto de productores como de consumidores para crear relaciones económicas más justas.

Así pues, a partir de modelos de economía colaborativa nacen propuestas de cooperativas enfocadas en la solución de necesidades comunes de algún colectivo. Las cooperativas son asociaciones de personas con objetivos en común que buscan por medio de la participación activa o trabajo conjunto de todos los socios. Una definición de cooperativa “se entiende por cooperativa a una asociación autónoma de personas que se han unido voluntariamente para hacer frente a sus necesidades y aspiraciones en múltiples ámbitos comunes como lo son: económicos, sociales y culturales por medio de una empresa de propiedad conjunta y democráticamente controlada” (Cooperativas de las Américas—Principios y Valores Cooperativos).

Dado el creciente interés en comunidades de energía y modelos de innovación social se hace importante considerar modelos innovadores alrededor del uso, gestión y colaboración energética en las ciudades. Sin embargo, la colaboración en modelos de emprendimiento alrededor de la

energía plantea varios retos, para los cuales se requiere pensar en estrategias de gestión para su factibilidad. Varias herramientas y tecnologías vigentes dan un impulso a la colaboración energética, por ejemplo, las criptomonedas representan un camino a investigar para su uso en transacciones de energía en comunidades urbanas y rurales. Por otro lado, otras experiencias relatan acerca de estrategias de financiamiento como el crowdfunding para el financiamiento colectivo de modelos colaborativos de energía eléctrica con bioenergía. En la actualidad y a conocimiento de los autores hay escasos casos de cooperativas energéticas y nulas aún alrededor de la bioenergía.

### **5.3.1. La problemática de la asociatividad rural en Colombia**

En el documento del Departamento Nacional de Planeación “Lineamientos de política para la Asociatividad Rural en Colombia. Rutas Para La Asociatividad Rural” (DNP, 2015), se plantea que *“la Dirección de Desarrollo Rural del DNP está trabajando en la construcción de una política enfocada en reconocer y promover formas asociativas, las cuales conlleven a la creación de organizaciones y colectivos con capacidades para aumentar la productividad y desarrollar proyectos sostenibles. Esta iniciativa va en línea con lo planteado en el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 “Prosperidad para Todos” y en el CONPES 3616 de 2009: “Lineamientos de la política de generación de ingresos para la población en situación de pobreza extrema y/o desplazamiento”.*

Pues se considera que la asociatividad contribuye al aumento de la competitividad y la productividad del sector agropecuario, ya que proporciona a las familias del sector posibilidades para organizarse en comunidad, disminuir costos, lograr acceso real a los mercados, desarrollar economías de escala, aumentar el poder de negociación, entre otros.

Los lineamientos de política están enfocados a que los pequeños y medianos agricultores desarrollen y fortalezcan modelos asociativos innovadores reconociendo y aprovechando los beneficios que ofrecen las formas asociativas rurales, como lo son:

- Organizar los colectivos y la comunidad bajo un objetivo común.
- Aumentar el poder de planeación y negociación.
- Compartir solidariamente riesgos y costos.
- Reducir costos de transacciones, transporte y distribución.
- Acompañar y facilitar el acceso a la asistencia técnica para el mejoramiento productivo.
- Acompañar y facilitar el acceso a fuentes de financiamiento.
- Mejorar la calidad de vida y la formación del recurso humano.
- Incrementar las capacidades y condiciones para penetrar y sostenerse en mercados.

Entre algunos modelos exitosos que tienen que ver con el sector palmicultor, sector de comprobado potencial de Recursos Distribuidos de Bioenergía RDB, el documento citado asegura que este sector “se ha caracterizado por implementar modelos asociativos y encadenamientos productivos mediante alianzas como herramientas para promover el desarrollo empresarial y social de comunidades vulnerables. Estos modelos han generado nodos con formas de trabajo asociado encadenados a empresas ancla, donde la comunidad involucrada en dichos proyectos ha logrado desarrollar capacidades productivas y empresariales. De esta manera, se ha logrado que los productores locales incrementaran sus ingresos quincenales hasta en un 300 por ciento, accedan a protección social, a capacitaciones y asistencia técnica sobre el manejo del cultivo”.

Además, se reporta que entre las entidades gremiales que han impulsado modelos asociativos en el país se encuentran FEDEPALMA, FEDECAFETEROS, ASOCAÑA y por otra parte, están vinculadas al proceso las instituciones de crédito como FINAGRO y el Banco Agrario que pertenecen al sistema financiero agropecuario.

La pequeña escala de producción individual que caracteriza al campo colombiano obstaculiza la incorporación de nuevas tecnologías y el acceso a la información, lo cual incrementa costos y le resta competitividad. El minifundio también obstaculiza la inclusión financiera, pues un solo productor puede no tener los activos suficientes como garantía para un crédito.

Por otra parte, cuando un pequeño productor negocia de forma individual su cosecha, tiene bajo o nulo poder de negociación frente al intermediario, que por lo general es más grande y tiene una posición dominante en el mercado.

Sin embargo, el desarrollo de la asociatividad rural enfrenta dificultades y barreras en los siguientes aspectos (DNP, 2015):

- a) Debilidad normativa para la constitución y formalización.
- b) Descoordinación interinstitucional en la oferta pública.
- c) Obstáculos en la promoción de acciones para la vida en comunidad.
- d) Debilidad en la oferta y acceso a servicios para la formación de capital humano.
- e) Limitaciones en el acceso a instrumentos financieros.
- f) Dificultades en la comercialización y acceso a mercados.

#### ***Debilidad normativa para la constitución y formalización***

La normatividad actual en torno a la asociatividad, presenta limitaciones que se han convertido en obstáculos para la constitución, formalización y sostenibilidad de las formas asociativas rurales. Las Leyes y decretos expedidos hasta el momento se han centrado en la economía solidaria en general y en el cooperativismo en particular, pero no en la implementación o la construcción de la asociatividad rural como una política de Estado y un fin en sí mismo.

Hoy en día los procesos de formalización tienen costos asociados monetarios y no monetarios, los cuales en la mayoría de los casos actúan como barreras para la formalización, lo anterior sumado a los problemas frente a la facultad de autorregularse y dictarse sus propias normas internas y estatutos.

#### ***Debilidades en la oferta y la coordinación interinstitucional***

Existen numerosos programas e instituciones del orden público, privado y multilateral que fomentan la asociatividad rural y que han contribuido a la creación de organizaciones, a su formalización y fortalecimiento;

sin embargo, existe desarticulación sectorial y descoordinación interinstitucional que generan duplicación de esfuerzos y consecuentemente utilización ineficiente de recursos, se suman a los múltiples y contradictorios conceptos de desarrollo, metodologías e instrumentos de trabajo utilizados por las distintas organizaciones e instituciones que están presentes simultáneamente en un territorio.

Lo anterior se adiciona a la falta de coordinación y pertinencia de las iniciativas de cooperación internacional que intervienen en el territorio de forma aislada, muchas veces sin conocimiento y control del gobierno, se desarrollan temporalmente y no se ajustan a las condiciones de la oferta nacional existente.

Esta falta de coordinación no permite que se construya el capital necesario, el cual permitiría dar mayor dinámica a los procesos de desarrollo, ya que la coordinación de acciones entre las organizaciones vinculadas al desarrollo rural, permitiría construir capital social necesario para fortalecer a las organizaciones y asociaciones existentes y se podría realizar una utilización más eficiente de recursos generalmente escasos, evidenciando mejores resultados.

Obstáculos en la construcción de tejido social para la vida en comunidad.

Adicional a los problemas del marco jurídico e institucional que afectan la consolidación y el desarrollo de la asociatividad rural, existen una serie de dinámicas sociales y políticas que al configurarse en el contexto rural, representan también obstáculos para la asociatividad.

El primero de ellos tiene que ver con el hecho que existe en el país una discriminación histórica hacia la población rural, al igual que una estigmatización de la pobreza en el campo, lo cual ha impedido que se reconozca y promocióne la necesidad de invertir en este sector e impulsar su desarrollo.

Existen también aspectos de índole cultural que se relacionan con la construcción de vida en comunidad y con la promoción de la asociatividad



rural. Uno de estos aspectos es el individualismo, entendido como la atomización y poca cooperación en torno a los intereses y acciones comunes.

Otro aspecto social que históricamente ha tenido un impacto sobre la construcción de vida en comunidad rural es el conflicto armado.

### ***Limitaciones en el acceso a instrumentos financieros***

Con relación al acceso al crédito y financiamiento, existe una amplia oferta de crédito para la asociatividad rural. Si bien existen instrumentos financieros para estimular la asociatividad rural, como las Figs. de crédito que se diseñaron para ofrecer requisitos y condiciones adaptados a las asociaciones rurales, existen obstáculos para el acceso que tienen que ver con los trámites y los costos generados. Lo anterior por tres causas principales:

Asincronía entre los instrumentos de crédito y las especificidades del sector rural.

Carencia de una herramienta especializada de evaluación del riesgo crediticio agropecuario.

Insuficiencia de instrumentos financieros distintos al crédito agropecuario.

### ***Debilidad en la oferta y acceso a servicios para la formación de capital humano***

La baja formación de capital humano es uno de los obstáculos para conformar y sostener a las formas asociativas rurales. Según el PND 2010-2014, solo el 20,6% de la población en edad de trabajar rural alcanza nivel de primaria y solo el 9% secundaria. Esto quiere decir que el grueso de la población rural no cuenta con las herramientas necesarias para desarrollar sus capacidades productivas y mejorar así su capacidad de generación de ingresos e impulsar el crecimiento del sector agropecuario.

Además, debe resaltarse que en la actualidad, la educación formal básica desconoce la vocación regional, lo que conduce a una formación desarticulada de las necesidades y potencialidades de los territorios, pues no toma en cuenta las particularidades de cada región ni su vocación productiva. Lo anterior se ve limitado también, dado que la educación no parte de la autonomía y el empoderamiento de las autoridades locales y territoriales para la construcción participativa de los planes de educación.

### ***Dificultades en la comercialización y acceso a mercados***

No obstante, los avances en la oferta de apoyos para la comercialización agropecuaria, persisten algunas limitaciones que se agudizan cuando los productores actúan de forma individual. Esto eleva los costos que enfrentan los productores, reduce su poder de negociación y su habilidad para integrarse verticalmente y acceder a nuevos mercados cumpliendo estándares de volumen y calidad.

La falta de articulación entre los productores, hace que exista un mayor número de oferentes de productos con relación a la cantidad de demandantes (comercializadores, centros de acopio e industriales). Debido a esto, el demandante tiene un mayor poder de negociación, y puede actuar como un monopolista, controlar el mercado y apropiarse del excedente del productor al pagarle precios inferiores a los competitivos.

A esto se suma el hecho de que los pequeños productores, cuando actúan de forma individual, no cuentan con la información adecuada y necesaria acerca de las características de los mercados y los precios, las demandas, lo cual dificulta la búsqueda e identificación de mejores ofertas. En otras palabras se generan escenarios especulativos, que le impiden maniobrar y lograr negociaciones justas.

El efecto de los anteriores planteamientos se traduce en altos niveles de intermediación y su efecto sobre la distribución de beneficios.

### **5.3.2. Posible desarrollo de los mercados de Recursos Distribuidos de Bioenergía en Colombia**

Los recursos de biomasa poseen un enorme potencial multifacético de cumplir con las expectativas de numerosas acciones estatales, privadas y comunitarias. Actualmente algunos de los biocombustibles como el carbón vegetal son negociados en mercados propios.

Sin embargo, del estudio de la cadena energética, de sus transformaciones y productos se esclarece que existen otros biocombustibles de factible realización en los mercados, es el caso del biometano, biocombustible secundario que se obtiene después del filtrado del biogás, y que tiene propiedades similares a las del gas natural y que incluso en Alemania es inyectado a las redes de gas comerciales. Igualmente, los biocombustibles primarios, que se procesan en los sistemas de conversión física, y de los cuales se extrae pellets, biocombustible granulado o torrefactado, es susceptible de ser considerado como un bien transable, de la misma forma que se efectúa en Norteamérica y en Europa.

Según Mckinsey & Company la bioenergía puede sustituir al carbón hacia el año 2025, ya que el costo nivelado de producción de energía en Europa tiene el potencial de reducirse un 48%; y para ello no se requiere de grandes avances tecnológicos. Así, la bioenergía podría desplazar al carbón preferentemente en las plantas de co-combustión, donde hoy ya el costo nivelado es inferior al del carbón; pero para el 2025 podría ser un 37% más bajo; también en plantas reconvertidas de carbón, cuyo costo nivelado tendría potencial a la baja de un 48%; en estas dos plantas el biocombustible serían los pellets blandos de pasta de madera procedentes de EE. UU.; además, el estudio también prevé una posible disminución, hasta de un 33%, de los costos nivelados de las plantas de cogeneración medianas y pequeñas (hasta de 50 MW); las cuales operan con biocombustible residual forestal local (chips de madera)<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Ver artículo en <http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/can-bioenergy-replace-coal>

Las tecnologías actuales permiten el procesamiento de recursos de biomasa proveniente de distintos tipos de generadores de residuos. Esto posibilita que se forme una cadena de abastecimiento con características de la materia prima disímiles y por ende de distinta valoración económica. Así, surge la posibilidad de la formación de centros logísticos que acopien biomasa procesada y expongan su valor en mercados disputables de biocombustibles primarios, como ocurre ya internacionalmente sobre todo con la producción de pellets. Esto ocasiona que los costos de los biocombustibles no se indexen al costo de los combustibles convencionales, generando mayor competitividad de la bioenergía. Los costos nivelados de los biocombustibles para producción de energía.

El desarrollo del aprovechamiento energético de los Recursos Distribuidos de Bioenergía RDB priorizados en función, entre otras, de sus características de concentración y facilidad de explotación, podrían convertirse en los nodos de desarrollo logístico y de explotación de otros recursos de presencia local de subproductos y/o coproductos de biomasa, con la finalidad lograr economías de escala locales y desarrollar una mejor geolocalización de la instalación de tecnologías pertinentes a biorefinerías y a las mezclas de recursos de distribuidos de bioenergía. Este tipo de actividad viene siendo impulsada por el clúster de bioenergía del Valle del Cauca.

Para zonas con necesidades de desarrollo regional equitativo es posible la implementación de mercados locales de precio justo, que proteja a los productores de biomasa de fluctuaciones de mercados globalizados, establezca a nivel local los ingresos de los productores de manera que impulse organizaciones de asociatividad comunitaria y/o colaborativa rural alrededor de la bioenergía como articulador de sus actividades productivas agropecuarias y actividades energéticas; que bien, podrían estar enlazadas con el mercado eléctrico a través del SIN o abastecer mercados locales de energía de las zonas no interconectadas a través de los esquemas de los Planes de Energización Rural Sostenibles PERS que promuevan el desarrollo local integral. Los asuntos de gobernanza de estas asociaciones colectivas organizadas alrededor de los recursos naturales son bien estudiados desde la teoría de los Recursos de Uso Común de (Ostrom, 2011).

Estos esquemas podrían también contener a empresas ancla como es el caso del desarrollo de Fedepalma o Asocaña que garantizan un encadenamiento productivo a nivel nacional y global que permiten a los productores cubrirse de la exposición al riesgo de mercados de mayor globalización.

Un esquema factible para las zonas no interconectadas consiste en el desarrollo de las áreas de servicio exclusivo de energía eléctrica definidas en el Plan de desarrollo 2014 - 2018, que tendrían como concepción fundante el desarrollo de esquemas empresariales integrales para la distribución y comercialización de GLP. Desarrollo este que podría poseer desarrollo híbridos biocombustible local -GLP para el aprovechamiento energético de los Recursos Distribuidos de Bioenergía (RDB).

Igualmente, el concepto de biorefinación eleva a la calidad de coproducto o subproducto a lo que se podría considerar un residuo de biomasa. Este aspecto trae consigo diferenciaciones importantes de orden reglamentario como se ha impulsado en la Unión europea mediante la Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008 sobre residuos.

La facilitación del acceso al mercado eléctrico colombiano a las FNCER dictado por la Ley 1715 de 2014, y por posibilitado el Sistema Interconectado Nacional SIN, es condición sine qua non para el aprovechamiento energético de los Recursos distribuidos de Bioenergía; pues, la mayoría de estos recursos se encuentran ubicados en la cobertura del SIN; además, es donde en mayor medida se pueden ver realizados los beneficios agregados de sus características locales y de generación electroenergética distribuida, propiciando la complementariedad evolutiva que precisa el sistema de potencia colombiano. Posibilitando con ello mayor energía firme y flexible; desarrollando la participación de la demanda con soluciones tecnológicas de sofisticación económica y ambiental, al elevar la eficiencia de cadenas productivas y energéticas imbricadas en su aprovechamiento, impulsando el desarrollo de redes eléctricas inteligentes en el país, que sean la plataforma tecnológica de un mercado eléctrico avanzado, con crecientes opciones de participación de la demanda y desarrollo de productos y servicios diferenciados, de manera que logren el desarrollo de la cobertura del SIN, en condiciones de asequibilidad de precios

y suficiencia de abastecimiento en las cantidades de energía necesarias para el beneficio y desarrollo económico bajo en carbono del país.

#### **5.4. Objetivos de valorización energética de los recursos distribuidos de bioenergía**

Los objetivos de valorización energética constituyen una parte de los resultados conclusivos de este capítulo y sus precedentes; ya que ellos fueron, formulados en concordancia con los objetivos y directrices nacionales de desarrollo, complementados con los compromisos adoptados por el país a nivel internacional; en particular con los asumidos con la OCDE y COP 21 en los temas de aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía y eficiencia energética; se ha verificado la existencia de potenciales energéticos tanto teóricos ( de la fuente), del recurso, económicos y de mercado; además, se ha demostrado como desde la concepción novedosa de servicios energéticos del lado de la demanda; ya sean, autoprovistos por el usuario, o suministrados por compañías especializadas de servicios energéticos ESCO's, a partir de la utilización moderna y avanzada de recursos distribuidos de bioenergía RDB, se atina a coadyuvar y posibilitar el cumplimiento de los objetivos nacionales de desarrollo pacífico y equitativo y sostenible de la población colombiana y sus compromisos internacionales con el medio ambiente.

La metodología para establecer los objetivos de valorización energética de los RDB se basa en el estudio de la alineación de los niveles de potenciales energéticos, planteados en el modelo NREL expuestos en la Fig. 1.3 del Capítulo 1; complementados con los criterios de priorización de biomasa expuestos en (Manrique et al., 2011), los cuales, a su vez, se clasifican en criterios de priorización para biomasa disponible y biomasa utilizable. En virtud, a que esta clasificación coincide con los criterios de decisión sobre procesos de transformación y obtención de energías primaria y secundaria respectivamente, se construye una matriz de alineación, con los elementos conceptuales de estos eslabones de la cadena energética y los niveles de potenciales energéticos con los criterios de priorización en las decisiones en bioenergía ver Tabla 5.6. Esta matriz

conceptual y de criterios rige el estudio para la definición de la valorización de los recursos distribuidos de bioenergía en esta investigación.

**Tabla 5.6 Matriz metodológica para la determinación de los objetivos de valorización de RDB.**

|  | <b>Criterios de proirización de Recursos Distribuidos de Bioenergía disponibles</b>   |  |
|--|---|--|
|  | <b>Energía Primaria (recursos)</b>  | <b>Energía secundaria (portadores energéticos)</b>   |
| <b>Niveles de potenciales energéticos</b>  | <b>Criterios de priorización de RDB</b>   | <b>Criterios de priorización de la conversión energética de RDB</b>  |
| <b>Recurso:</b> Restricciones físicas, Potencial físico teórico, Contenido energético del recurso  | <b>Existencia:</b> Cantidad, en peso o volumen de recurso en unidad de superficie.  |  |
|  | <b>Equilibrio:</b> Periodicidad, Frecuencia o Tasa de generación del recurso, por día, mes, año, o ciclo de producción.   |  |
| <b>Tecnico/Ambiental:</b><br>Restricciones del sistema/topográficas, Restricciones del uso de la tierra, Desempeño del sistema                               | <b>Esparcimiento:</b> Dispersión o concentración del recurso. Fuentes puntuales de generación.  | <b>Especificidad:</b> Tipo de recurso de biomasa a emplear: necesidad de adecuación del mismo para poder aplicar un determinado proceso. Características y naturaleza del recurso que obligan a realizar pre-tratamientos. |
|  | <b>Efectos:</b> Impacto local visible. Su empleo podría impactar visiblemente a la zona, desde el punto de vista de la contaminación, de las emisiones, de la disposición de residuos, u otros, por lo cual se propone o descarta a priori su uso. Pueden considerarse aspectos sociales u otros. | <b>Estado:</b> Nivel de conocimiento del proceso. Trayectoria de uso a nivel mundial.  |
|  |   | <b>Ejecución:</b> Tipo de desempeño del proceso. Nivel de sencillez o complejidad del mismo.   |
|  |   | <b>Eficiencia:</b> Eficiencia total del proceso de conversión. Dado que está directamente ligado con un dispositivo particular, puede considerarse el de uso más común   |
| <b>Económico/social:</b> Costos tecnológicos proyectados, Costos proyectados de combustibles   | <b>Experiencias:</b> Usos actuales. Usos establecidos del recurso como por ejemplo abono, forraje, artesanías, etc.   | <b>Empleo:</b> Aplicaciones o uso final de la biomasa factibles de lograrse con el proceso.  |
|  | <b>Estimación:</b> Percepción sobre el recurso y su interés de uso o aceptación social (apropiable).  | <b>Escala:</b> Magnitud del emprendimiento, alcance.   |
|  | <b>Expectativa:</b> Perspectiva de existencia futura del recurso en calidad y cantidad. Probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso, ya sea por respaldo político, legal, económico, financiero, cultural, etc  | <b>Experiencia:</b> Nivel o grado de experiencia en el manejo del proceso por parte de la población destinataria. Aceptación social en su empleo.  |
| <b>De Mercado:</b><br>Implementación de políticas/Impactos, Límites regulatorios, Respuesta inversionista, Competición regional con otras fuentes de energía |   | <b>Emisiones:</b> Emisiones contaminantes y/o de gases con efecto invernadero emanadas de la utilización de este proceso.  |
|  | <b>Exigencias:</b> Accesibilidad legal y física. Incluye Propiedad particular, restricciones legales de áreas protegidas u otras. También considera Orografía, situaciones de terreno   |  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Los objetivos de valorización energética de los RDB fueron clasificados su alineación con los niveles de potenciales energéticos propuestos por NREL. Esta clasificación fue orientada a la vez, por los criterios para la toma de decisiones alrededor de los potenciales energéticos aplicados a contextos latinoamericanos como se expuso en la Tabla 5.6. En la siguiente Tabla 5.7. se presenta el resultado de la formulación de los objetivos de valorización de los RDB y justificados al tenor de las normas o directrices gubernamentales estudiadas anteriormente.



**Tabla 5.7 Potenciales energéticos aplicados a contextos latinoamericanos.**

| Niveles de potenciales energéticos   | Objetivos de la Valorización Energética de Recursos Distribuidos de Bioenergía (RDB)  | Justificación normativa o directriz   |
|--|---|---|
| <b>Recurso:</b><br>Restricciones físicas,<br>Potencial físico teórico,<br>Contenido energético del recurso                           | <p>Promover y desarrollar las capacidades metrológicas y de certificación de productos y servicios de la cadena energética de aprovechamiento de RDB, con la finalidad de apalancar los mercados de bienes y servicios de la cadena de valor, mediante la creación y desarrollo de laboratorios certificadores, dentro de la cadena de acreditación del Sello Ambiental Colombiano (SAC).</p> <p>Aprovechar las ventajas competitivas y energéticas de los recursos de biomasa residual, ofrecidas por las condiciones naturales colombianas. Aprovechar las condiciones climáticas colombianas que le permiten obtener al tas tasas de generación de biomasa y sus residuos, de gran frecuencia y conveniente periodicidad para ofrecer energía firme, complementariedad, confiabilidad, eficiencia energética y de mercado, flexibilidad, limpieza, ante mercados existentes y por desarrollar</p>  | <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. a. Componente 2. Fortalecer las capacidades metrológicas, del Plan Nacional de Desarrollo <b>PND 2014 - 2018</b>. Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDE, Plan Nacional de desarrollo <b>PND 2014 - 2018</b>. Compromiso 560 de Colombia con la Recomendación <b>C(85) 102 de la OCDE</b></p> <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 5 d. e. Componentes: Desarrollo de mercado y Utilización de fuentes no convencionales de energía del Plan Nacional de Desarrollo <b>PND 2014 - 2018</b></p> |
| <b>Tecnico/Ambiental:</b><br>Restricciones del sistema/topográficas,<br>Restricciones del uso de la tierra,<br>Desempeño del sistema | <p>Desarrollar centros de acopio logístico y mercadeo de Recursos Distribuidos de Bioenergía. Desarrollar el mercado de subproductos y co-productos de RDB, a través de la organización logística de centros de acopio y mercadeo de biomasa concentrada en forma de pellets, briquetas u otras presentaciones de manera apalanquen el desarrollo de su aprovechamiento energético. Para la parte biodegradable de los residuos sólidos urbanos, la valorización energética debe extraer estos subproductos de la cadena conducente a la disposición final de residuos en rellenos sanitarios y configurar una cadena logística y de valor energético sostenible y económicamente rentable que combine compostaje y energía.</p> <p>Desarrollar Ciencia, tecnología e innovación de talla mundial para el aprovechamiento energético de los RDB. Convertir el aprovechamiento energético de los Recursos Distribuidos de Bioenergía en un desarrollo científico-tecnológico de talla mundial contando con las ventajas comparativas que proporciona la alta disponibilidad local de los RBR en el trópico y los pisos térmicos colombianos; procurando el desarrollo de ciclos de cogeneración de electricidad y calor de alta eficiencia, propiciando sofisticación a las cadenas productivas y energéticas.</p> <p>Aprovechar el refuerzo de la seguridad de abastecimiento eléctrico limpio a partir de RDB.</p> | <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, Objetivo 2. c del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018. Objetivo 1. Suministro confiable y diversificación de la canasta de energéticos. Plan Energético Nacional. Ideario 2050. PEN-2050</p>   |
| <b>Tecnico/Ambiental:</b><br>Restricciones del sistema/topográficas,<br>Restricciones del uso de la tierra,<br>Desempeño del sistema |   | <p>EQUIDAD/Objetivos 4, acción b. Del Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018 (ley 1753 de 2015). Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDE, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromiso 558 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p> <p>Objetivo 1. Suministro confiable y diversificación de la canasta de</p>   |

| Niveles de potenciales energéticos   | Objetivos de la Valorización Energética de Recursos de Distribuidos de Bioenergía (RDB)   | Justificación normativa o directriz   |
|--|---|---|
| <b>Técnico/Ambiental:</b><br>Restricciones del sistema/topográficas,<br>Restricciones del uso de la tierra,<br>Desempeño del sistema | <p>Aprovechar el incremento de la seguridad de abastecimiento eléctrico que ofrece el aprovechamiento energético de los RDB al proporcionar energía firme al sistema, cercana al consumo, en forma de energía distribuida aumentando la confiabilidad del sistema eléctrico, la diversidad del mix de generación y la capacidad exportadora de electricidad; disminuyendo la huella de carbono del sistema</p> <p>Privilegiar el desarrollo de la cogeneración a partir de RDB. Privilegiar el desarrollo de la cogeneración a base de Recursos de biomasa residual, como desarrollo productivo sofisticado que une la generación limpia con la eficiencia energética de procesos productivos agroindustriales y pecuarios, logrando el abatimiento intensivo de gases de efecto invernadero</p> <p>Aprovechar el potencial de desarrollo bajo en carbono del uso energético de los RDB. Desarrollar portafolios de eficiencia sostenible del sector productivo basados en el aprovechamiento de RDB.</p> | <p>energéticos. Plan Energético Nacional. Ideario 2050. PEN-2050. Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. a Componente 1 del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018</p> <p>Objetivo 2. Demanda eficiente de energía. Promover la eficiencia energética en toda la cadena de la demanda. Plan Energético Nacional - ideario 2050. PEN 2050. Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDEC, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromisos 564 y 565 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p> <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. b Componente 4 del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018. Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDEC, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromiso 556 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p> |
| <b>Económico/social:</b> Costos tecnológicos proyectados, Costos proyectados de combustibles   | <p>Impulsar mecanismos de asociatividad, clúster y encadenamientos productivos para el aprovechamiento de los RDB. Lograr la generación de mecanismos de asociatividad y clústeres que creen cadenas de valor y desarrollo de mercados de diversos productos energéticos, que incidan en el desarrollo de escalas eficientes de aprovechamiento de la biomasa</p> <p>Desarrollar incentivos que reduzcan los costos o reconozcan el beneficio ambiental del aprovechamiento energético de la biomasa residual. Desarrollar incentivos</p>   | <p>EQUIDAD/Objetivo 4, acción c. Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018 (ley 1753 de 2015). Objetivo 1. Biocombustibles en el Plan Energético Nacional ideario 2050. PEN- 2050</p> <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. b. Componente 3 del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018. Objetivo 5. Mantener los ingresos y viabilizar la transformación productiva y generación de valor. Promover la generación de clústeres, Plan Energético Nacional- ideario 2050. PEN-2050. Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDEC, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromisos 567,</p>   |

| Niveles de potenciales energéticos  | Objetivos de la Valorización Energética de Recursos de Distribuidos de Bioenergía (RDB)  | Justificación normativa o directriz   |
|---|--|---|
| <b>Económico/social:</b> Costos tecnológicos proyectados, Costos proyectados de combustibles  | <p>para realizar inversiones en bioenergía a partir de recursos distribuidos que reflejen el beneficio ambiental.</p> <p>Desarrollar la utilización de recursos de biomasa residual para la energización de Zonas no Interconectadas (ZNI). Aprovechar los RDB para expandir la cobertura eléctrica, ya sea en forma híbrida o autónoma, bajo el desarrollo de modelos de Áreas de Servicio Exclusivo y/o dentro de los Planes de Energización rural Sostenible (PERS), de manera que se incremente la productividad local.</p> <p>Aprovechar la empleabilidad de las cadenas energéticas de la biomasa residual para aclimatar la paz y la equidad. Desarrollar infraestructura energética sostenible basada en el aprovechamiento de RDB locales y tecnologías de biocombustibles avanzados, para territorios específicos de alta inequidad o de alta intensidad y persistencia del conflicto armado; de manera que contribuya a la agregación de valor y competitividad local en torno a la explotación de bienes de uso común de recursos energéticos distribuidos, desarrollando servicios logísticos y mercados de materias primas de biocombustibles de biomasa residual, y productos de electricidad y calor locales</p> <p>Apoyar técnica y financieramente a las empresas innovadoras en RDB. Apalancar financieramente las actividades de innovación en el aprovechamiento energético de Biomasa residual que permita a las empresas constituidas asumir capital de riesgo corporativo y la vigilancia y prospectiva tecnológica, y a las nacientes incubarse, teniendo en cuenta que el aprovechamiento energético de la biomasa, se encuentra en plena fase de innovación y maduración tecnológica.</p> | <p>y 568 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p> <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 5 d. Componente Zonas no Interconectadas del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018</p> <p>EQUIDAD/Objetivos 2, acción a. Y Objetivo 4 del Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018 (ley 1753 de 2015). Paz/Objetivo 2, acciones a. y b.; Objetivo 3 acciones a. y b. del Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018 ley 1753 de 2015</p> <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. b Componente 2 del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 - 2018</p> |
| <b>De Mercado:</b> Implementación de políticas/Impactos, Límites regulatorios, Respuesta inversionista, Competición regional con otras fuentes de energía | <p>Desarrollar Capital humano para el aprovechamiento energético de la biomasa residual. Desarrollar el capital humano local pertinente a la cadena productiva electro energética capaz de aprovechar los RDB de la localidad</p> <p>Desarrollar la energización rural sostenible a partir de RDB de manera que logren generar una cadena de valor auto sostenible y meritatoria, aprovechando el carácter local del recurso y la posibilidad de apropiación de beneficios por agentes pertenecientes a las comunidades residentes.</p> <p>Desarrollar la respuesta de la demanda al precio con recursos distribuidos de energía a partir de biomasa. Aprovechar el carácter de prosumidores (consumidor y productor simultáneamente) de energía de la mayoría de los poseedores de recursos de biomasa residual y su ubicación en el lado de la demanda, con la finalidad de</p>  | <p>EDUCACION/Objetivo cerrar las brechas, acción c. del Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018</p> <p>Objetivo 3. Esquemas que promuevan la universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica. Planes de energización rural sostenibles. Plan Energético Nacional</p> <p>Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDEC, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromiso 557</p>   |

| Niveles de potenciales energéticos   | Objetivos de la Valorización Energética de Recursos de Distribuidos de Bioenergía (RDB)  | Justificación normativa o directriz  |
|--|--|--|
| <b>De Mercado:</b><br>Implementación de políticas/Impactos, Límites regulatorios, Respuesta inversionista, Competición regional con otras fuentes de energía | <p>incrementar la eficiencia del mercado eléctrico y el abatimiento de gases de efecto invernadero</p> <p>Aprovechar el carácter local de los RDB para apalancar el desarrollo económico de las localidades. Los recursos locales de biomasa residual pueden aportar soluciones de estabilidad, y eliminación de restricciones al sistema energético de manera competitiva en mercados complementarios de energía que emitan señales de localización que mejoren las características y desempeño del servicio eléctrico, y a la vez apalanquen el desarrollo económico de las localidades.</p> | <p>de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p>   |
|  | <p>Desarrollar la coordinación administrativa interministerial para el aprovechamiento de largo plazo de los RDB.</p>  | <p>Eje Estratégico de Competitividad e infraestructura estratégicas, objetivo 1. b Componente 4 del Plan Nacional de Desarrollo PND 2014-2019</p> <p>Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDE, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromisos 550, 551, y 555 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p> |
|  | <p>Mejorar la regulación y reducir las barreras del aprovechamiento energético de los recursos de biomasa residual. Lograr suficiente flexibilidad e integralidad local, regional y nacional, en los esquemas de regulación que fomenten la investigación y la innovación de la opción ambientalmente favorable y económicamente eficiente de uso energético de la biomasa residual</p>  | <p>Eje Estratégico de Buen Gobierno, Ingreso y adopción de estándares OCDE, Plan Nacional de desarrollo PND 2014 - 2018. Compromiso 569 de Colombia con la Recomendación C(85) 102 de la OCDE</p>  |

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.5. Análisis de resultados

Se han considerado tres escenarios energéticos: escenario con inserción alta de bioenergía, escenario con inserción media de bioenergía y un escenario con inserción baja de bioenergía. Las perspectivas de crecimiento de cada biomasa en cada región corresponden a dinámicas regionales y sectoriales, el PND 2014 – 2018 contempla tasas de crecimiento anual entre el 2% y el 4% acorde a las metas y perspectivas de manera general para el sector agrícola. De acuerdo a los escenarios de integración se alcanzarían niveles de participación de 21.000 GWh en el escenario de participación alta, de 15.000 GWh en el de participación media y de 7.500 GWh en el escenario de participación baja. Los objetivos de valorización energética

de los RDB fueron clasificados de acuerdo a los criterios para la toma de decisiones alrededor de los potenciales energéticos aplicados a contextos latinoamericanos.

Asimismo, la asociatividad rural sería clave para propiciar cooperativas energéticas alrededor de los recursos de energía distribuidos. Sin embargo, este capítulo ha analizado de manera detallada algunas barreras que se presentan por el hecho de que los pequeños productores, cuando actúan de forma individual, no cuentan con la información adecuada y necesaria acerca de las características de los mercados y los precios, las demandas, lo cual dificulta la búsqueda e identificación de mejores ofertas.

La generación distribuida y la autogeneración con bioenergía representan un cambio respecto al paradigma de la infraestructura de generación a gran escala y centralizada que se desarrolló durante el siglo XX acorde a la disponibilidad de recursos energéticos y por criterios de eficiencia económica. Sin embargo, la actualidad requiere de alternativas de producción y uso de energía eléctrica de manera distribuida y local.

## **5.6. Conclusiones**

Este capítulo ha señalado el nivel de inserción de la bioenergía en el sistema interconectado nacional a través de tres escenarios construidos en un modelo energético del sector de generación de energía eléctrica en Colombia en un periodo de 2018 a 2032. Más importante aún, este capítulo ha señalado el potencial de aprovechamiento de tres biomásas en las regiones de Colombia que indican el potencial como recurso energético distribuido. En particular el escenario de inserción alta de bioenergía ha encontrado que a 2032 la bioenergía como recurso energético descentralizado podría participar en la matriz energética con 21.000 GWh que corresponderían aproximadamente al 20% de los requerimientos de energía eléctrica a 2032.

Adicionalmente, este capítulo ha mostrado la actualidad sobre estrategias de colaboración y cooperación en diferentes contextos para la adquisición y compartir de servicios, recursos y productos. La bioenergía representa una oportunidad para la cooperación energética en comunidades dado el origen de las biomásas y su potencial de aprovechamiento de manera distribuida y descentralizada. Por tanto, este capítulo hace una breve reflexión e invita a la comunidad interesada en enfocar esfuerzos en la oportunidad de crear, organizar y colaborar en diferentes estrategias de cooperación alrededor de la bioenergía en Colombia.

## **5.7. Referencias**

Capellán-Pérez, I., Campos-Celador, Á., & Terés-Zubiaga, J. (2018). Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the energy transition in Spain. *Energy Policy*, 123, 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.064>

Chen, K., Lin, J., & Song, Y. (2019). Trading strategy optimization for a prosumer in continuous double auction-based peer-to-peer market: A prediction-integration model. *Applied Energy*, 242, 1121–1133. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.094>

Chuquen, R. M., & Luna, S. A. C. (2020). Análisis del riesgo de la cobertura de energía firme en Colombia a mediano plazo. *Tecnura*, 24(64), Article 64. <https://doi.org/10.14483/22487638.16487>

Cooperativas de las Américas—Principios y Valores Cooperativos. (s/f). Recuperado el 27 de enero de 2020, de <http://www.aciamericas.coop/Principios-y-Valores-Cooperativos-4456>

DNP. (2015). Lineamientos de política para la asociatividad rural en Colombia. <https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/Rutas-para-la-asociatividad-rural-en-Colombia.aspx>

Giotitsas, C., Pazaitis, A., & Kostakis, V. (2015). A peer-to-peer approach to energy production. *Technology in Society*, 42, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.02.002>

Góngora, A. R., Barrera, Y. D., & Chuquen, R. M. (2015). Escenarios Energéticos a 2050 con Integración de Fuentes de Energía Eléctrica Renovables en Colombia. *Tecnura*, 19, 83–89. <https://doi.org/10.14483/22487638.9613>

Hahnel, U. J. J., Herberz, M., Pena-Bello, A., Parra, D., & Brosch, T. (2019). Becoming prosumer: Revealing trading preferences and decision-making strategies in peer-to-peer energy communities. *Energy Policy*, 111098. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111098>

Hong, J. H., Kim, J., Son, W., Shin, H., Kim, N., Lee, W. K., & Kim, J. (2019). Long-term energy strategy scenarios for South Korea: Transition to a sustainable energy system. *Energy Policy*, 127, 425–437. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.055>

Łapniewska, Z. (2019). Cooperatives governing energy infrastructure: A case study of Berlin's grid. *Journal of Co-Operative Organization and Management*, 7(2), 100094. <https://doi.org/10.1016/j.jcom.2019.100094>

Liu, Y., Wu, L., & Li, J. (2019). Peer-to-peer (P2P) electricity trading in distribution systems of the future. *The Electricity Journal*, 32(4), 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.03.002>

Luna-Carlosama, C., Jiménez-García, F., Moreno-Chuquen, R., & Mulcué-Nieto, L. (2020). Potencial de irradiación solar para generar electricidad en el departamento del Putumayo de Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 153–162.

Manrique, S. M., Franco, J., Núñez, V., & Seghezze, L. (2011). Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101733>

Mikova, N., Eichhammer, W., & Pfluger, B. (2019). Low-carbon energy scenarios 2050 in north-west European countries: Towards a more harmonised approach to achieve the EU targets. *Energy Policy*, 130, 448–460. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.047>

Moreno, R., Lopez, Y. U., & Quispe, E. C. (2018). Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030. *Avances: Investiga-*



ción en Ingeniería, 15(1), 329–343. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4743>

Moreno, R., Obando, J., & Gonzalez, G. (2019). An integrated OPF dispatching model with wind power and demand response for day-ahead markets. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 9(4), 2794–2802. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i4.pp2794-2802>

Obando, J. S., González, G., & Moreno, R. (2020). Quantification of operating reserves with high penetration of wind power considering extreme values. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(2), 1693–1700. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i2.pp1693-1700>

Oberle, S., & Elsland, R. (2019). Are open access models able to assess today's energy scenarios? *Energy Strategy Reviews*, 26, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100396>

Petropoulos, G. (2017). Collaborative Economy: Market Design and Basic Regulatory Principles. *Intereconomics*, 52(6), 340–345. <https://doi.org/10.1007/s10272-017-0701-8>

Roesler, T., & Hassler, M. (2019). Creating niches – The role of policy for the implementation of bioenergy village cooperatives in Germany. *Energy Policy*, 124, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.012>

Singh, P., & Singh, N. (2019). Political economy of bioenergy transitions in developing countries: A case study of Punjab, India. *World Development*, 124, 104630. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104630>

Sousa, T., Soares, T., Pinson, P., Moret, F., Baroche, T., & Sorin, E. (2019). Peer-to-peer and community-based markets: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 367–378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.036>

UPME. (2015). Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015—2029. <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Plan-Expansion-2015-2029.aspx>

Witt, T., Dumeier, M., & Geldermann, J. (2020). Combining scenario planning, energy system analysis, and multi-criteria analysis to develop and evaluate energy scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118414>

XM. (2018). Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2018. <http://www.isa.co/es/sala-de-prensa/Documents/relacion-con-inversionistas/filiales/Reporte%20integral%20de%20sostenibilidad,%20operaci%C3%B3n%20y%20mercado%202018.pdf>

Yin, S., Wang, J., & Qiu, F. (2019). Decentralized electricity market with transactive energy – A path forward. *The Electricity Journal*, 32(4), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.03.005>